

13- Дәріс. Асыл металдар аффинажы

Аффинаж – асыл металдарды қоспалардан тазарту және бір-бірінен бөлудің металлургиялық технологиясы.

Аффинажды зауыттарға өздігінен түзілетін алтынның гравитациялық концентраторлары, цианирле үдерісінің мырышты тұнбалары, амальгамадан шлихты алтын, мысты электролиттік рафинирлеуден және қорғасын өндірісінің шламдарынан алынған Доре металы, әр түрлі, тұрмыстық және өндірістік сынықтар мен қалдықтар және басқа да металдар келіп түседі.

Құрамында алтыны бар материалдардың құрамы күрделі әрі ұрақсыз. Онда алтыннан басқа күміс, мыс, қорғасын, сүрме, күшән, қалайы, висмут және басқа да қоспалар, ал бір қатар жағдайда платина тобының металдары да кездеседі. Асыл емес металдардың қоспасын лигатура деп атайды. Қоспалардың мөлшері өте кең аумақта ауытқиды – үлгі үлесінен 200 – 600 үлгіге дейін. Бұл материалды сынау үшін алдын ала балқыту қолданылады.

Лигатура мен күмістің басым бөлігінен құтылу үшін бастапқы балқыманы хлоридтерге шлакқа ауыстырады. Құймадан лигатуралар мен күмісті бөлген соң тазалығы 997 болатын алтын балқыманы құйма (слиток) күніне келтіреді және қажет болған жағдайда электролиттік рафинациялауды жүргізеді.

Алтын мен күмісті аффинаждаудың ең жетістікті әдісі электролиз болып табылады. Бұл жағдайда құрамында 700-ден аса және 900-ден кем емес алтын үлгісі бар құйманы бөлек технологиялар бойынша өңдейді. Құрамында күміс мөлшері жоғары (300 алтын үлгісінен төмен) болатын құйманың аффинажы екі сатылы электролизді қажет етеді: алдымен құйманың анодтық еруі кезінде катодта таза күміс тұнады, ал алтын шламға өтеді. Содан соң шламды қайта балқытып, алтында катодта тұндыру үшін қайтадан электролизге ұшыратады.

Күміс аффинажының бірінші сатысын сыйымдылығы $0,6\text{ м}^3$ болатын винипласт немесе фарфордан жасалған электролиз астауында, 1 – 3% азот қышқылымен қышқылданған азот қышқылды күміс ерітіндісі электролитінен жүргізеді. Анод бастапқы құймадан жасалады; катодтық негіздер күмістен немесе алюминиден жасалады. Үдеріс $400\text{-}600\text{ А/м}^2$ тоқ тығыздығында жүзеге асырылады. Астаудағы кернеу $0,8\text{-}2,6\text{ В}$ аралығында ауытқиды. Соңғы нәтиже келесі үдерістермен сипатталады: анодта $\text{Ag} - e \rightarrow \text{Ag}^+$; катодта $\text{Ag}^+ + e \rightarrow \text{Ag}$. Бұл жағдайда алтын құрамында платиноидтар, селен, теллур және басқа да ерімейтін қоспалары бар шламға өтеді.

Катодта тұнған күміс құрылымы ұнтақ тәрізді ірі кристалды болады және катодты негізден оңай тазартылады. Анодтық шламды жинау үшін және оның күміс тұнбасымен араласпауы үшін анодтар диафрагмалы қапшықтарға орнатылады.

Үдеріс аяқталған соң астаудан тәулігіне бір рет анодтық қалдықтарды шығарады, алтын шламды бөліп алып, астаудың түбінен кеуекті қасықпен таза күміс кристалдарын бөліп алады. Астауда үздікті түрде электролит ауыстырылып тұрады.

Күміс тұнбасын шаяды және тазалығы 999 үлгі болатын құймаларға (слитки) құяды. Аса таза күміс алу үшін (999,999 үлгіге дейін) бастапқы күмісті электролизбен қайтандан аффинаждайды.

Қайта балқытыған алтын шлам салмағы 1 – 3кг болатын анодтарға құйылады және аффинажға жібереді. Қайта балқытудан бұрын алтын шлам құрамындағы күміс, селен, теллур қалдықтарын еріту үшін азот қышқылымен өңделеді. Шламнан басқа алтын электролизіне құрамында күміс мөлшері 200 үлгіден аспайтын алтын қосылыстары да жіберіледі. Алтын анодтар негізінен күміспен және платиналы металдармен ластанады.

Алтын анодтардың аффинажы кезінде электролит ретінде тұз қышқылымен қышқылданған алтын хлорлысутекті қышқыл HAuCl_4 пайдаланылады. Катод талшықты алтын сымнан жасалады.

Алтын электролизінің негізгі үдерісі болып оның анодтық еруі, катиондардың катодқа тасымалдануы және алтынның катодтық тұнбасының түзілуі болып табылады. Анодта бір және үш валентті алтын иондарының түзілуіне байланысты алтынның біраз мөлшері анодтық шламға өтеді:



Алтын электролизі кезінде күміс ерімейтін хлорид күйінде тұнбаға түседі. Күміс мөлшері көп болған жағдайда анодта оны пассивациялайтын тығыз қабыршақ түзілуі мүмкін. Түзілген қабыршақтың үгітілуінен туындайтын күмістің зиянды әсерін төмендету үшін электролиз ауспалы тоқты тұрақты тоққа ауыстырылып жүргізіледі. Осындай әдіспен құрамында 200 үлгі күмісі болатын алтын құймаларын рафинирлеуге болады.

Алтын анодтардың электрхимиялық еруі кезінде платиналы металдар және лигатура қоспалары толығымен дерлік электролитке өтіп, сонда жинақталады. Қолданылған электролит құрамында қоспалар көбейген сайын ауыстырылып отырылады. Электролитті тазарту кезінде одан алдымен бөлек астауларда графитті анодтар қатысындағы электролизбен алтынның басым бөлігін бөліп алады, кейін әр түрлі әдістермен алтын мен платиноидтар қалдығын бөліп алады.

Алтын аффинажын көп жағдайда сыйымдылығы 25л болатын фарфор астауларда жүргізеді. Астаулар электроитті 50-60°C температураға дейін қыздыру үшін сулы моншаға орнатады, ал электролитті ауамен барботажап араластырады. Электролиз кезінде хлордың бөлінуіне байланысты астау тартқыш шкаф астына орнатылады.

Үдеріс кезінде тұрақты-ауыспалы токтың берілуі кезінде жалпы ток тығыздығы 800-1500А/м² құрайды. Астудағы кернеу 1В шамасында болады. Алынатын катодтық алтынның тазалығы 999,8-999,9 үлгі болады.

1.4 Алтынды химика-аналитикалық бақылау

1.4.1. Алтында сапалық анықтау

(III) алтынды сапалық анықтау үшін оның қарапайым тотықтырғыш және кешентүзгіш қасиеттерін пайдаланады

Реактив	Анықтау әдісі	Сезімталдылығы
---------	---------------	----------------

Fe ²⁺ , Sn ²⁺ , C ₂ O ₄ ²⁻ , H ₂ O ₂ , гидрохинон	Au(III) + реактив → коллоидты Au қызыл тұнбасы, ерітінді қызғылт түске боялады	0,02 мг/мл
TiCl ₃	Au(III) + реактив → қарқынды күлгін (фиолетовый) түс	0,01 мг/мл
Mn(II) в среде пирофосфата (Na ₄ P ₂ O ₇) при pH=6-8	Au(III) + Mn(II) + Na ₄ P ₂ O ₇ → Au ⁰ + [Mn ^{III} (P ₂ O ₇) ₂] ⁵⁻ - қызыл-күлгін (красно-фиолетового) түс кешені	1 мкг/мл
Бензидин H ₂ N · C ₆ H ₄ · C ₆ H ₄ · NH ₂	Au(III) + реактив → ерітінді көк түске боялады (бензидин көгі)	0,4 мкг/мл
Аскорбиновая кислота C ₆ H ₈ O ₆ (витамин С)	Au(III) + реактив → көк-күлгін (сине-фиолетовое) түске болады	0,4 мкг/мл
Дитизон H-S-C=N-NH-C ₆ H ₅ \ N=N-C ₆ H ₅	Au(III) + реактив → экстракция; органикалық қабат сары түске боялады – дитизонат Au(I)	0,05 мкг/мл
Рубианово-водородная кислота H – S – C = NH H – S – C = NH	Au(III) + реактив → қою қоңыр түс береді	

1.4.2. Алтынды анықтау және концентрлеу әдістері

Алтынды бөлу және концентрлеу әдістерін химиялық, экстракциялық және сорбциялық (хроматографиялық) деп жіктеуге болады.

Химиялық әдістің өзі тасмалдағышпен және тасымалдағышсыз концентрлеу әдістеріне бөлінеді. Тасымалдағышсыз концентрлеу әдісі алтынды элементарлы күйге дейін тотықсыздандыру немесе тұндырғыш мөлшері артық болмайтын, белгілі құрамды қосылыстардың түзілуіне негізделген. Бұл әдіс құрамы алтынға бай нысандарды талдауда қолданылады. Тотықсыздандырғыш ретінде темір (II), SO₂, қымыздық қышқылы, гидрохинон пайдаланылады. Қосылыстарды тұндырғыш ретінде сілтілік ортадағы натрий сульфиді алынады, және ерітіндіні қышқылдандырғанда тиотүз түзіледі, ол қышқылдық ортада ыдырап Au₂S₃ тұнбаға түседі; пиразолон туындылары (диантипирилпропилен, диантипирилфенилметан) дихлорэтанмен экстракцияланатын AuCl₄⁻ тұнбасын түзеді.

Тасымалдағышпен концентрлеу әдісінде органикалық және бейорганикалық тасымалдағыштар қолданылады. Алтын келесі қосылыстармен қатар тұндырылады: pH=3 болғанда п-

диметиламинобензилиденродаминмен; қышқылды ерітінділерден дитизонмен; рН=0-7 кезінде тионалидпен; Стенгауза өнімімен (формальдегид пен приокатехин реакциясының өнімі). Бейорганикалық тасымалдағыштар ретінде келесі қосылыстар алынады: бейорганикалық сульфидтер (CuS, PbS, Ag₂S); теллур (IV) қосылыстары қатысында тотықсыздандырғыштар; металдық темір; никель мен мырыш гидрототықтары; әр түлі маркалы көмір, соның ішінде белсендірілген көмір.

Экстракциялық әдістер. Алтын үшін келесі типті экстрагенттер белгілі:

- бейтарап экстрагенттер: изоамил спирті, метилэтилкетон, диэтил эфиірі, изопропил эфиірі, этилацетат, бутилацетат, үшбутилфосфат;

- негіздік экстрагенттер: родаминдер, трифенилметандер, антипириндер;

- қышқылдық экстрагенттер: диэтилдитиокарбаминат, дитизон, изооктилтиогликолят, ацетилацетон, сульфоксиды.

Сорбциялық әдістер. Алтынды сорбциялауға кең түрде әр түрлі типті катиониттер (дауэкс-50, КУ-2, дауэкс-50W), аниониттер (дауэкс-1X10, АВ-17, амберлит ЖКА-400, АН-2Ф, АН-18, ЭДЭ-10) қолданылады. Сонымен қатар катионалмастырғыш (амберлит 8А-2) және анионалмастырғыш (амберлит-8В-2) қағазда, тасымалдағыштармен (целлюлоза; диэтил эфиірімен сіңірілген фторопласт) толтырылған бағаналардағы таратқыш хроматография пайдаланылады.

1.4.3. Алтынды сандық анықтау әдістері

1.4.3.1. Гравиметриялық әдіс

Гравиметрлік әдісті екі топқа жіктеуге болады: бірінші әдісте алтын салмақты форма ретінде қолданылатын элементарлы күйге дейін тотықсыздандырылады; екінші әдіс тұрақты құрамы бар тұнбалар түзілуге негізделген.

Алтынды салмақтық әдіспен анықтағанда Au (III) ионын тотықсыздадыру үшін сілтілі және қышқылды ортада SO₂, H₂O₂, NaNO₂, H₄P₂O₆, металдық Al және Zn, Fe (II), Cr (II), Cu (I) тұздары, гидрохинон, қымыздық қышқылын, формальдегид, аскорбин қышқылын пайдаланады.

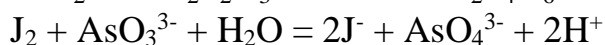
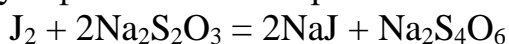
Салмақтық форма ретінде қолданылатын қосылстар күйінде анықтауда алтын келесі түде бөлінеді: Au₂S₃ сульфиді, Au₂Se · H₂Se селенид, рейнекат (Рейнек тұзы Au(III)-ды Au(I) дейін тотықсыздандырады және Au(Cr(NH₃)₂(SCN)₄·H₂O тұнбасын түзеді), тиогликолят C₂H₃O₂SAu, ди-2-тиенилкетонноксимат Au(C₉H₆NOS₂)₂OH.

1.4.3.2. Титриметриялық әдістер

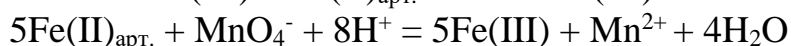
Иодометриялық анықтау



Түзілген иодты тиосульфатпен немесе арсенитпен титрленеді:



Fe (II) тұздары қатысында анықтау. Үш валентті алтын Мор тұзымен элементарлы күйге дейін тотықсыздандырылады, Fe (II) артық мөлшерін KMnO_4 немесе $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ерітінділерімен титрленеді:



Титранттар ретінде $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$, Na_3AsO_3 немесе NaAsO_2 , гидрохинон, аскорбин қышқылы, гидразин, тиомочевина пайдаланылады.

1.4.3.3. Фотометриялық әдістер

Алтынды фотометрлік әдіспен анықтауды үш типке бөлуге болады:

1 – әдіс Au (III) иондарын тотықсыздандырғанда ұсақдисперсті боялған алтын күлінің түзілуіне негізделген. Бұл әдісте тотықсыздандырғыш ретінде SnCl_2 , аскорбин қышқылы, антранил қышқылы қолданылады.

2 – әдіс органикалық реагенттермен Au (III)-мен әрекеттескенде боялған тотығу өнімдерінің түзілуіне негізделген. Органикалық реагенттер: максимумыды жарық жұтуы 540нм-де п-аминогипур қышқылы қызыл-күлгін түсті қосылыс түзеді, максимумыды жарық жұтуы 440нм-де толидин сары түсті қосылыс, максимумыды жарық жұтуы 580нм-де вариамин көгі алтынды көк түсті қосылыс түзілгенге дейін тотықсыздандырады.

3 – әдіс алтынның боялған кешенді қосылыстарының түзілуіне негізделген. Мұндай қосылыстар алтын реагент-лигандалармен әрекеттескенде түзіледі: NH_4SCN , натрий азиді, дитизон, диэтилдитиокарбаминат, диэтанолдитиокарбаминат, пириди-2-альдоксим, кристалдық күлгінмен, бриллиантты жасылмен, метил көкпен және т.б.

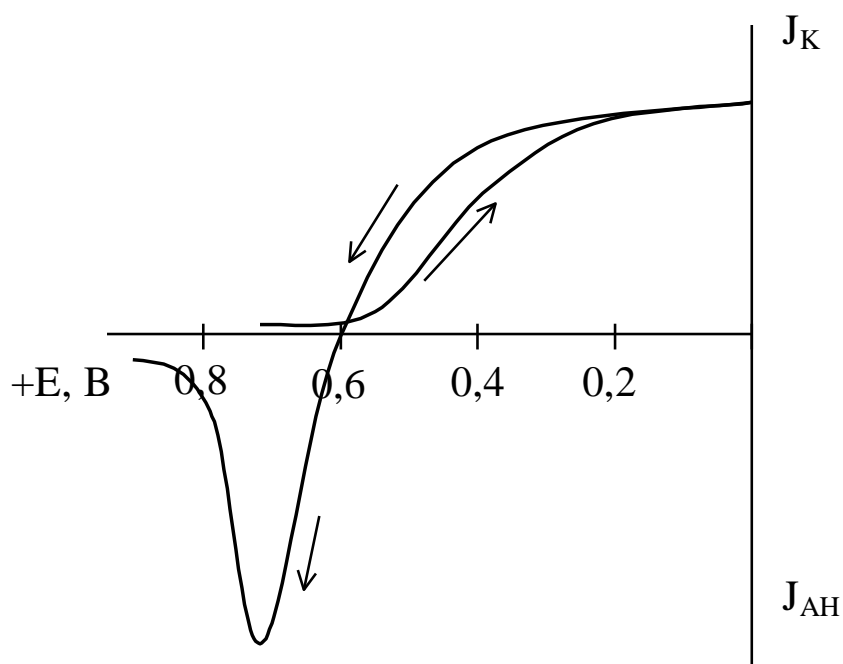
1.4.3.4. Электрхимиялық әдістер

Алтынды электрхимиялық анықтауда вольтамперметрлік және амперметрлік титрлеу қолданылады.

Вольтамперметрлік әдістер. Алтын жоғары оң потенциалға ие, сынап және қатты (платина, графит, алтын) электродтарда тотықсыздану толқындарын береді. Алтын (III) ионының кешенді қосылыстары металдық сынаппен әрекеттескенде металдық алтынға дейін тотықсызданады. Сондықтан алтынның (I, III) тотықсыздану толқыны сынаптың еру потенциалынан басталады. Қатты электродтар қатысындағы полярографияда алтынды цементациялау үдерісі жүрмейді, электродтың оң потенциалдан теріс потенциалға қарай поляризациялануынан (потенциал беру жылдамдығы) анық катодтық толқындар алынады. Егер вольтамперметрлік қисықты кері бағытта түсірсе (анодтық потенциал беру жылдамдығы), металдық алтынның анодтық еру үдерісі жүреді:



Бұл жағдайда анық байқалатын анодты шың алынады (1.4.3.4. сур.).



Мұндай әдісті пайдаланып вольтамперограммаларды түсіру әдісі инверсионды вольтамперометрия деп аталады. Инверсионды вольтамперометрия қарапайым вольтамперметриямен салыстырғанда алтынды (III) анықтаудың төменгі шегін 2-3 рет төмендетуге мүмкіндік береді. Анықтаудың төменгі шегінің төмендеуі немесе сезімталдылықтың жоғарылауы алтынның (I, III) электртотықсыздану потенциалында қатты электродтың поляризациялану уақытын арттырғанда электрод бетінде алтынның алдын-ала жинақталуына байланысты болады.

Амперметрлік титрлеу әдістері.

Алтынды (III) амперметрлік титрлеу платина немесе графит электродында реагенттің тотығу тоғында жүргізеді.

Титрант	Au:R молярлы қатынасы, к.т.т.	Қосылыс түзетін реакция
1. Мор тұзы, Fe ³⁺	1 : 3	Au(III) + 3Fe ³⁺ = Au + 3Fe ³⁺
1. Гидрохинон C ₂ H ₄ (OH) ₂	1 : 3	Au(III) + C ₆ H ₆ (OH) ₂ = Au + C ₆ H ₄ O ₂
3. KJ	1 : 3	Au(III) + 3J ⁻ = AuJ + J ₂
4. K ₄ Fe(CN) ₆	1 : 2	3AuCl ₄ ⁻ + 6Fe(CN) ₆ ⁴⁻ = 3Au(CN) ₂ ⁻ + + 5Fe(CN) ₆ ³⁻ + Fe ³⁺ + 12Cl ⁻
5. Тиомочевина SCN ₂ H ₄ <=> HSCN ₂ H ₃	1 : 3	[Au ^I (SCN ₂ H ₄)] ⁺
6. Тиоксин C ₉ H ₆ NSH	1 : 2 в HCl 1 : 3 в H ₂ SO ₄	(C ₉ H ₆ NS) ₂ HAuCl ₂ тұнба (C ₉ H ₆ NS) ₃ Au тұнба

1.4.4. Құрылғы көмегімен талдау

Құрылғы көмегімен талдау (ескі атауы – құрылғылық өнер) – химика-металлургиялық үдерістерді пайдалана отырып асыл және платиналық металдарды кендерден және оларды өңдеу өнімдерінен сапалық анықтау әдістері. Құрылғылық талдау – аса сезімтал және дәл әдістердің бірі, ол алтынның мөлшерін 0,00002% дейін анықтауға мүмкіндік береді. Бұл әдіс б.з.б. 2000 жылда ежелгі Мысырда туындаған.

Құрылғылық талдаудың (ҚТ) негізгі әдісі «құрғақ жол» болып табылады, шағын пирометаллургиялық зауыттық үдерістерден тұрады. ҚТ қарапайым сызбасы келесі тізбектелген операциялардан тұрады:

- 1 – үлгі алу;
- 2 – талдауға алынған өлшендіні шихталау, яғни тотықтырғыш немесе тотықсыздандырғыш, флюс және коллектордың сәйкес мөлшерімен араластыру;
- 3 – үлгіні ошақта (тигельді үлгі) немесе муфельде (щерберлі үлгі) балқыту;
- 4 – балқытылған қара қорғаснды тотықтырып балқыту;
- 5 – асыл металдардың құймасын (королек) қайнату;
- 6 – алынған алынды өлшеу (корточка).

Флюс құрамына натрий карбонаты немесе кальцинирленген сода (силикатты кендерде натрий силикаты немесе күрделі силикаттар түзілуі үшін), бура – $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (балқу температурасын төмендетеді, асыл емес металдардың бораттарын түзеді), ұсақталған ұнтақ, шыны күйіндегі кварц – SiO_2 (негіздік кендерде силикаттар түзеді), тотықсыздандыру кезінде металдық қорғасынға дейін ауысатын глет – PbO , металдық қорғасын асыл металдарды бөліп алады және веркблей түзеді.

Веркблей алу үшін глетті тотықсыздандыруға әр түлі органикалық қосылыстар пайдаланады – ұн, крахмал, жануар көмірі.

Балқыту түріне байланысты глет (PbO , тигельді балқыту) немесе металдық қорғасын (щерберлі балқыту) қолданылады. Тигельді балқыту құрамы бойынша кедей кендер талдауда, ал щерберлі балқыту құрамында алтыны жоғары болатын кендердің талдауында қолданылады.

Тигельді үлгі тотықсыздандырғыш-еріткіш балқытудан тұрады. Талданатын заттың өлшендісін (25-100г) флюс және коллектормен (PbO) бірге отқа төзімді шамот тигельде балқытады. Балқыту кезінде коллектор тотықсызданады да өзімен бірге алтынның (күмістің) бөлшектерін алып кетеді, олармен құйма түзеді де тигель түбіне тұнады. Қорғасынның алтын және күміспен құймасын сүйек ұнтағынан, магнетиттен және басқа да отқа тұрақты материалдадан жасалған кеуекті астаушада (капель) тотықтырып күйдіреді ($>900^\circ\text{C}$). Бұл кезде қорғасын және асыл емес металдардың тотықтары капельде сіңіріледі, ал астауша бетінде «королек» - алтын мен

күміс құймасы қалады. Королек пробирлі таразыда өлшенеді ($\Sigma Au+Ag$), кейін оны қайнатып, азот қышқылымен сұйылтады. Бұл жағдайда күміс ерітіндіге өтеді, қалған алтын корточкасын шаяды және кептіреді, кішкене фарфор тигельде күйдіріп, дәлдігін 0,01 мг етіп пробиркалы таразыда өлшейді.

Щеберлі үлгі – өлшендіні дәнекті қорғасынмен, бурамен және кварцпен ашық ыдыста муфельді пеште тотықтырып-ерітіп балқыту. Шихта 900-950°C-та балқытылады (жабық муфельде), кейін балқытылған қорғасын ашық ауа қатысында тотықтырылады (ашық муфельде). Бұл кезде қорғасын тотыға отырып бура және кварцпен шлактанады, қорғасын құймасы суыған соң шлактан тазартылып тотықтырылып күйдіріледі.

II бөлім. Күміс химиясы, технологиясы және химиялық бақылау әдістері

2.1. Күмістің физика-химиялық сипаттамсы

2.1.1. Күміс туралы жалпы мәлімеі және физикалық қасиеттері

Жер қыртысында күміс мөлшері $1 \cdot 10^{-5}$ үлес. % құрайды. 100 г-ға 0,02 мг мөлшерде күміс сүтқоректілер мен адам ағзасында кездеседі, сонымен қатар теңіз тұзында 0,3-10 мг/т болады. Күміс өздігінен түзілген және полиметалдық кен (мыс, қорғасын, мырыш сульфидтері) құрамына кіретін минералдар түрінде кездеседі. Ең маңыздылары: салыстырмалы түрде таза және басқа элементтердің қоспасы бар өздігінен түзілген күміс (кюстелит - 10% Au, когебери - 5% Hg, анимит - 11% Sb, мысты күміс - 10% Cu, электрум Ag Au - 20% Au); аргентит - Ag_2S (күміс жылтыры, қаралашты күміс); пираргирит - $Ag_{24}S_2S_{15}$; прустит - Ag_3AsS_3 . Өздігінен түзілген ең ірі күміс салмағы 13,5 т болған. Полиметалдық кендерде күміс мөлшері 0,25% дейін болады. Осы рудалардағы күмістің ең аз мөлшері 0,02% құрайды.

Тиын мен әшекейлерді жасаудан басқа күміс санитарлы техникада және медицинада суды залалсыздандыруға қолданылады (күмістің өте аз мөлшері суға бактерицидті қасиет береді). Мұндай күміс суды тағамды консенвирлеуге пайдалануға болады. Күміс құймаларын пломба (Ag-33%, Hg-52%, қалғаны Cu және Zn), электрлік контактілер дайындауға қолданады. Күміс қосылыстары фотографиялық өндірісте және медицинада кең пайдаланылады. Күміс иілгіш және оңай полирленеді, барлық металдардың ішінде жоғары шағылыстыру қасиетіне, электрөткізгіштікке, жылуөткізгіштік қасиеттеріне ие.

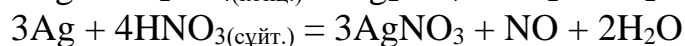
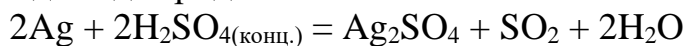
2.1.2. Химиялық қасиеттері

Күміс қосылыстарында басым жағдайда +1 тотығу дәрежесін көрсетеді. Сонымен қатар +2 және +3 тотығу дәрежесі бар қосылыстары да белгілі.

Күміс ауадағы оттегіге тұрақты, алайда температура мен қысымды арттырса Ag_2O түзіледі. Қара түсті Ag_2S түзе отырып күкіртпен оңай әрекеттеседі. Ауада ұзақ уақыт тұрған жағдайда күміс жұқа қабықшаның

түзілуіне (ауа құрамындағы өте аз мөлшердегі H₂S әсерінен) байланысты қараяды. Бос галогендермен күміс бөлме температурасында да баяу әрекеттеседі.

Күміс тұз қышқылында және сұйытылған күкірт қышқылында (1:2 және одан кем) ерімейді. Концентрленген күкірт және азот (концентрленген және сұйытылған) қышқылдаында ериді:



Озон немесе аммоний персульфаты әсерінен Ag⁺ ионы Ag (II) дейін тотықсыздануы мүмкін. Ag (II) ионын тұрақтандыру үшін металды кешенді қосылыс түрінде алу керек. Құрамында AgNO₃ және дипиридил бар азот қышқылды ерітіндіге озонмен әсер еткенде қою қызыл түсті Ag(C₁₀HgN₂)₂(NO₃)₂ түсті тұнба түзіледі. AgO шала тотығы күмісті концентрленген сілтілі ерітінділерде анодтық тотықтыру кезінде оңай алынады.

Сулы ерітінділерде күміс иондары құрамы Ag(H₂O)₂⁺ болатын диакваиондар күйінде болады. Мұндай ерітіндіге сұйытылған аммоний гидроксидімен әсер еткен кезде ақ түсті AgOH түзіледі, күйдіргіш сілтілер әсерінен бірден қоңыр түсті Ag₂O түзіледі.

2.1.3. Күмістің бейорганикалық лигандалармен жай және күрделі қосылыстары

(I) күміс көптеген реагенттермен (аниондармен) аз еритін тұздар түзеді, олар реагенттердің артық мөлшерінде кешенді қосылыстар түзеді. 2.1.3. кестеде күмістің бейорганикалық лигандалармен қосылыстарының ерігіштік туындысы және тұрақсыздық константалары келтірілген.

Кесте 2.1.3.

Күмістің бейорганикалық лигандалармен қосылыстарының ерігіштік туындысы және тұрақсыздық константалары

Қосылыстар мен кешенді иондардың құрамы	Түс	Туынды	K _{тұр-сыз.}
AgCl	ақ	1,6 · 10 ⁻¹⁰	
AgCl ₂ ⁻	түссіз		1,8 · 10 ⁻⁵
AgBr	сары	4,4 · 10 ⁻¹³	
AgBr ₂ ⁻	сарғыш		7,8 · 10 ⁻⁸
AgI	сары	1,5 · 10 ⁻¹⁶	
AgI ₃ ²⁻	сарғыш		1,4 · 10 ⁻¹⁴
AgCN	ақ	7 · 10 ⁻¹⁵	
Ag(CN) ₂ ⁻	түссіз		8 · 10 ⁻²²
Ag ₂ CO ₃	ақ	6 · 10 ⁻¹²	
Ag(NH ₃) ₂ ⁺	түссіз		9,3 · 10 ⁻⁸
Ag ₂ SO ₄	түссіз	7,7 · 10 ⁻⁵	
Ag ₂ S	қара	3,9 · 10 ⁻⁵⁵	

AgSCN	ақ	$1,1 \cdot 10^{-12}$	
$\text{Ag}(\text{SCN})_3^{2-}$	түссіз		$8,3 \cdot 10^{-10}$
Ag_2CrO_4	Кірпішті қызыл		
$\text{Ag}_4\text{P}_2\text{O}_7$	ақ	$3,9 \cdot 10^{-25}$	
AgPO_3	ақ	$8,4 \cdot 10^{-8}$	
Ag_3AsO_4	қоңыр	$1,0 \cdot 10^{-22}$	
$\text{Ag}_2\text{S}_2\text{O}_3$	ақ		
$\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$	түссіз		$2,5 \cdot 10^{-4}$
$\text{Ag}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$	ақ	$1,5 \cdot 10^{-41}$	
$\text{Ag}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$	Қою сары	$9,8 \cdot 10^{-26}$	

Күмістің (I) суда жақсы еритін қосылыстары: AgNO_3 , AgClO_4 , AgClO_3

2.2. Электрхимиялық қасиеттері

2.2.1. Электродтық потенциалдар және гидраттар түзілуінің рН мәндері

Сулы ерітінділерде күміс +1 және +2 тотығу дәрежелерін көрсетеді. Кешентүзуші ерітінділерде күмістің өмір сүру жағдайы мен оның электродтық потенциалы ерітіндінің рН мәніне тәуелді болады. Бұл тәуелделекті Пурбе диаграммасы – «потенциал диаграммасы – металл жүйесіне арналған рН – су» күйінде сипаттауға болады.

Күмістің өмір сүру формасы және бір формадан екінші формаға өту шекаралары

Ag^+/AgO^-	pH = 12,02
$\text{Ag}^+/\text{Ag}_2\text{O}$	pH = 6,33
$\text{Ag}_2\text{O}/\text{AgO}^-$	pH = 17,72
$\text{Ag}^{2+}/\text{AgO}$	pH = -1,76
$\text{AgO}^+/\text{Ag}_2\text{O}_3$	pH = -11,1

Кесте 2.2.1.

Күмістің әр түрлі формада өмір сүруінің стандартты потенциалдары:

Электродтық жүйе	E_0 , н.в.э.	Электродтық жүйе	E_0
Ag/Ag^+	0,799	$\text{Ag}_2\text{O}/\text{AgO}$	1,40
$\text{Ag}^+/\text{Ag}^{2+}$	1,98	Ag^+/AgO	1,77
Ag^+/AgO^+	1,99	$\text{AgO}/\text{Ag}_2\text{O}_3$	1,60
$\text{AgO}^-/\text{AgO}^+$	1,29	Ag/AgO^-	2,22
$\text{Ag}^{2+}/\text{Ag}_2\text{O}_3$	1,36	$\text{Ag}^+/\text{Ag}_2\text{O}_3$	1,67

Кесте 2.2.2.

Аз еритін және кешенді қосылыстардың электродтық потенциалдары

Электродтық жүйе	E_0 , н.в.э.
Ag/Ag ₂ CrO ₄	0,45
Ag/Ag(SO ₃) ₂ ³⁻	0,43
Ag/AgCl	0,22
Ag/AgBr	0,01
Ag/AgCN	-0,02
Ag/AgJ	-0,15
Ag/Ag(CN) ₂ ⁻	-0,31

2.2.3. Күмістің электролитикалық бөлінуі

Күміспен электролиттік қаптау әсемдік қаптама алуда және техникалық мақсатта радиоэлектронды, құрылғы жасау, авиациялық өндірісте кеңінен қолданылады. Күміс бұйымдарының қаттылығын арттыру мақсатында аз мөлшерде алынған басқа металдармен легирлеу қолданылады. Аса тығыз қаптамалар күмістің кешенді қосылыстарының электролизі кезінде алынады. Кешенді реагент ретінде көп жағдайда калий цианиді пайдаланылады. Сілтілік металл цианиді күміс иондарымен AgCN, Ag(CN)₂⁻, Ag(CN)₃²⁻ кешенді иондарын түзеді, осылардың арасынан қай ион түзілетіні электролит құрамына тәуелді болады. Күміс пен бос цианид концентрацияларының қолайлы қатынасы 1:(1-1,5). Ауа қатысында, соның ішінде көмір қышқылының буынан сілтілік металл карбонаттарын түзе отырып цианидтердің ыдырауы жүреді. Цианидтердің бұзылуын болдырмау үшін, сонымен қатар ерітіндінің электрөткізгіштігін жоғарылату және шашырату қабілетті жақсарту үшін электролитке калий карбонаты қосылады. Күмістеу үшін цианидті электролиттен басқа электролиттер де қолданылады: ферроцианидті (синеродисті), роданидті-синеродисті, иодидті және т.б. Барлық жағдайда электролиз күміс анодтарында жүргізіледі.

Кесте 2.2.3.1.

Электролит құрамы және күмістеу жағдайлары

№	Құрамы, г/л	i_k , А/см ²
1.	AgNO ₃ (Ag-ге есептегенде) – 20-25 KCN – 15-20 K ₂ CO ₃ – 15-20	0,3 – 0,8
2.	KAg(CN) ₂ (Ag-ге есептегенде) – 25-35 KCN – 50-60 K ₂ CO ₃ – 20-25 Сүрмелішарапқышқылды тас – 4-5 K-Na шарап қышқылды (сегнетов тұзы) – 50-60 KOH – 5-10	1 – 1,5
3.	AgCl – 40 K ₄ Fe(CN) ₆ – 200	1 – 1,5

	$K_2CO_3 - 20$	
4.	$AgNO_3$ (Ag-ге есептегенде) – 25-30 $K_4Fe(CN_6) - 35-40$ KCNS – 80-100 $K_2CO_3 - 30-40$	0,3 – 0,7
5.	$AgNO_3$ (Ag-ге есептегенде) – 25-30 KJ – 350-450 ББЗ – 1-2	

2.3. Күміс металлургиясы

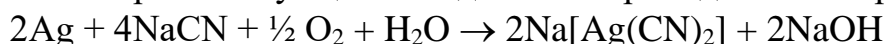
2.3.1. Күмісті минералдардан бөліп алу

Күмісті негізінен мыс және қорғасынды балқыту кезінде пирометаллургиялық жолмен алады. Күміс негізгі металл құймаларында концентрленеді. Қаралашты мыстан оны электролиттік рафинация арқылы алады. Қаралашты қорғасыннан (веркблей) күміс мырыштың көмегімен бөлінеді. Құрамында күміс бар балқытылған қорғасынға мырыш қосылады, ол балқыту кезінде бөлек қабат түзеді (қаралашты қорғасынның балқу температурасы $450^{\circ}C$, мырыштықы $419^{\circ}C$). Күміс қорғасынмен салыстырғанда мырышта жақсы ериді, сондықтан оның негізгі бөлігі Ag_2Zn_3 құймасын түзе отырып мырыш қабатына өтеді, беткі қабатқа құрамы 15-40% Ag, 60-70% Zn және 5% Pb тұратын мырыш көбігі шығады.

Мырышты көбіктен қорғасын пресс арқылы қысым астында сығылып алынады. Қорғасын бөлінген соң мырыш $1250^{\circ}C$ -де графитті реторта арқылы айдалады. Нәтижесінде құрамында 4% күмісі және Zn, As, Cu бар қорғасын қалады. Қорғасын глетке тотықтырылады, ол ауа қысымымен жойылады. $1000^{\circ}C$ -де глет астынан сұйық күмістің жылтыр қабаты байқалады. Сұйық күмісте қалған теллурды $NaNO_3$ қосу арқылы жояды. Күміс құрамында 1-10% қоспасы бар (As, Sb, Hg, Te, Bi) Доре металына құйылады және электролизге жіберіледі. Электролит ретінде құрамында 60 г/л күміс бар $AgNO_3$ ерітіндісі қолданылады, анод – Доре металы, таза күміс катодта тұнады.

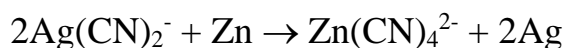
Күмісті күміс кендерінен алу кезінде кенді бөлшектеп ұсақтайды, күмістің ірі бөлшектері гравитациялық байытумен немесе сирек жағдайда амальгациямен бөліп алады. Амальгацияға өздігінен түзілген күміс және оның хлоридтері жіберіледі. Күмістің басқа минералдары алдын ала күйдірілгеннен соң амальгацияланады. Қазіргі кезде күмісті амальгациялау кең қолданылмайды.

Күмісті цианирлеу алтынды цианирлеу үдерісіне ұқсас жүреді. Ұсақталған күміс минералына ауа қатысында $NaCN$ ерітіндісімен әсер етеді:



Барлық жағдайда күміс ерітіндіге кешен күйінде өтеді.

Цианидті ерітіндіден күмісті сілті қатысында мырышпен немесе алюминимен тұндырады:

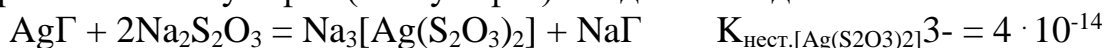


Алынған тұнба балқытылады да аффинажға жіберіледі.

Күмісті цианидті ерітінділерден басқа да жолмен бөліп алуға болады: ионалмастырғыш шайырман; органикалық еріткіштерді қолданып сұйық экстракциямен.

2.3.2. Күмісті фотоматериалдар қалдығынан бөліп алу

Күміс қосылыстары (AgCl, AgBr) фотографияда кең қолданылады. Фотоматериалды шығару (проявления) операциясынан кейін (шығару – күміс галогенидін органикалық тотықсыздандырғыштармен металдық күйге дейін тотықсыздандыру үдерісі) оны пленканың (фотоқағаздың) сезімталдылығын жою үшін жарықта біраз уақыт ұстайды (фиксируют). Фиксаж жарық сезгіш қабаттан ыдырамай қалған күміс галогенидін жою арқылы жүргізіледі. Фиксациялаушы реагент ретінде әдетте күміс галогенидін кешен тұзу арқылы оңай еритетін гипосульфит (тиосульфат) пайдаланылады:



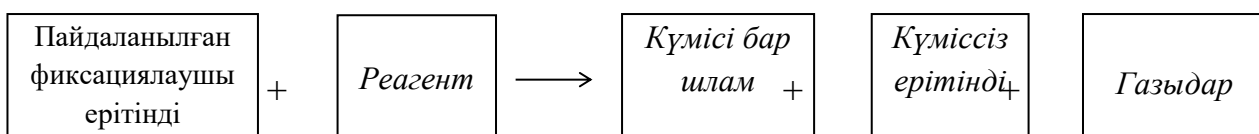
Қолданылған фиксациялаушы ерітінділер күмісті алуда екіншілік шикізат болып табылады. Күмісті бөліп алу үдерісі тиосульфатты кешенді бұзу арқылы жүреді. Ол үшін фиксациялаушы ерітіндіден аз еритін күміс сульфиді немесе металдық күміс бөлініп алынады және шламды рафинирлейді.

Күмісті бөліп алу сызбасы



Тұндырғыш реагент ретінде күкіртті натрий ($\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$), натрий гидросульфиті ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), формалин (HCOOH), мырыш ұнтағы пайдаланылады. Алғашқы екі реагенттің әсерінен аз еритін Ag_2S түзіледі; қалған реагенттер әсерінен күміс иондары металдық күміске дейін тотықсызданады. Күмісті толық және жылдам тұндыру үшін күкіртті натрий тиімді. Күмісті мырыш ұнтағымен тұндыру үздікті араластыру жағдайында 1-2 тәулікке созылады.

Пайдаланылған фиксациялаушы ерітінділердің реагенттермен әрекеттесуі келесі сызба бойынша жүзеге асады:



Күмісті тұндырудан бұрын оның пайдаланылған фиксациялаушы ерітіндідегі мөлшерін (г/л) анықтап алу қажет. Егер ерітінді құрамында г/л дейінгі мөлшерде болса 2,5%-дық реагент (Na_2S), 6г/л-ден асқан жағдайда 5%-дық реагент қолданылады. Пайдаланылған фиксациялаушы ерітіндіден 1г күміс тұндыру үшін келесі мөлшердегі реагенттер қажет (г): күкіртті натрий – 1; натрий гипосульфиті – 1,7; мырыш ұнтағы – 2.

Күміс сульфидін реагенттермен тұндыру 60-70°C-та қыздырып және шламды суыту (2 сағат 60-70°C-та қыздырылған күйде және 20 сағат суықта) арқылы жүзеге асырылады. Шлам ерітіндіден бөлінеді, кептіріліп, қайта өңдеу зауытына жіберіледі, ол жерде алтынды хлорация және электролизбен аффинаждайды.

2.4. Күмісті химика-аналитикалық бақылау

2.4.1. Күмісті сапалық анықтау

Күміс сапалық түрде органикалық және бейорганикалық реагенттермен анықталуы мүмкін.

Кесте 2.4.1

Реагент	Күміс қосылысы	Қосылыс түсі
K_2CrO_4	Ag_2CrO_4	Қызыл
NH_4VO_3	AgVO_3	Қоб сары - қызыл
Na_3AsO_4	Ag_3AsO_4	Қызыл-қоңыр
HCl	AgCl	Ақ
KBr	AgBr	Палевый
KJ	AgJ	Ашық сары
H_2S	Ag_2S	Қоңыр-қара
NH_4OH	Реагент артық емес жағдайда – Ag_2O Реагент артық болса – $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+$	Қара
Zn (Fe)	Ag^0	Сұр-қара
Дитизон $\text{C}_6\text{H}_5(\text{NH})_2\text{CS}$ NNC_6H_5	$ \begin{array}{c} + \text{ N} - \text{NH} - \text{C}_6\text{H}_5 \\ \\ \text{Ag} \leftarrow \text{S} = \text{C} \\ \\ \text{N} = \text{N} - \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} $ Қышқылды орта	Сары

	$ \begin{array}{c} \text{N} - \text{N} - \text{C}_6\text{H}_5 \\ \parallel \quad \backslash \\ \text{C} - \text{S} - \text{Ag} \\ \quad \nearrow \\ \text{N} = \text{N} - \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} $ <p>Сілтілі орта</p>	күлгін
Роданин	$ \begin{array}{c} \text{Ag} - \text{N} - \text{C} = \text{O} \\ \quad \\ \text{S} = \text{C} \quad \text{C} = \text{CH} \cdot \text{C}_6\text{H}_4 \cdot \text{N}(\text{CH}_3)_2 \\ \quad \backslash \quad / \\ \quad \quad \text{S} \end{array} $	Қызыл-күлгін

2.4.2. Анықтау және концентрлеу әдістері

Қосалқы элементтерден күмісті бөлу және концентрлеу үшін тұндыру реакциясын, электролиттік әдістер, экстракциялық әдістер және хроматографияны (сорбция) қолданады.

Күмісті басым элементтерден хлорид немесе сульфид түрінде тұндырып бөлуге болады. Күмістің микроөлшерін элементарлы теллурмен, металдық қорғасынмен, Ti , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ тұздарының тұнбаларымен, мыстың диэтилдитиокарбаминатымен тұндырылады.

Электролиз әдісімен күмісті түсті және қара металдардан бөлуге болады. Күмістің тығыз металдық тұнбасын алу үшін электролизді азот қышқылды, аммиакты, цианидті ерітінділерде жүргізеді. Электролизден соң күміс Cu , Sb , As , Bi , Zn , Sn , Mo , W , Al , Pt , Pb , Se металдарынан бөлінеді.

Бөлудің экстракциялық әдісі кең таралған. Көп жағдайда күмістің дитизон және оның туындыларымен кешенді қосылысы түрінде экстракциялау жүргізіледі. Күмісті диэтилдитиокарбаминатпен, 8-оксихинолинмен, фосфор және тиофосфор қышқылының эфирлері, трибутилфосфатпен экстракциялап бөліп алуға болады.

Бөлу және концентрлеудің хроматографиялық әдістерінен аниониттер (ЭДЭ-10П, Дауэкс-IX8) мен катиониттер (Дауэкс-50WX8, КУ-2, КУ-21, әр түрлі функциональды тобы бар целлюлоза, Н-түрдегі силикагель) пайдалануға негізделген ионалмастырғыш хроматография қолданылады.

2.4.3. Сандық анықтау әдстері

2.4.3.1. Гравиметриялық әдіс

Гравиметриялық әдістің кең таралған және дәл түрі күмісті хлорид күйінде тұндыру болып табылады. Сонымен қатар гравиметриялық әдіспен күмісті хромат (Ag_2CrO_4), иодат (AgJO_3), сульфид (Ag_2S), рейнекат $\{\text{Ag}[\text{Cr}(\text{NH}_3)_2(\text{SCN})_4]\}$ түрінде анықтауға болады. Ең жақсы әдіс – электролизден кейін металдық күмістің бөлінуі (электргравиметрия). Бұл жағдайда электролит ретінде азот қышқылды, күкірт қышқылды, аммиакты және цитратты пайдаланылады. Ең жақсы электролит кешентүзгіш (NH_3 ,

KCN), себебі осы электролиттерден металдық күмістің тығыз тұнбалары алынады.

2.4.3.2. Титриметрлік әдістер

Күмісті титриметриялық әдістермен анықтау тұндыру, кешен түзу және тотығу-тотықсыздану реакцияларына негізделген.

Классикалық титриметриялық әдіс болып Фольгард әдісі болып табылады. Бұл әдіс Ag^+ және SCN^- иондарының арасындағы реакцияға және аз еритін AgSCN тұнбасының түзілуіне негізделген. Индикатор ретінде темір-аммонийлі кварцтар қолданылады. AgSCN тұнбасы ақ түсті, ал эквиваленттік нүктеден кейін түзілетін кешен FeSCN^{2+} қызыл түске боялады.

Сонымен қатар күмісті әр түрлі түсті адсорбциалаушы индикаторлар (п-диметиламинобензилиденроданин, тиофидоресцеин, ксиленолды көк және т.б.) қатысында галогенид- және цианид-иондармен де титрлейді.

Тотығу-тотықсыздандыру титрлеудің жанама әдісі пайдаланылады. Мысалы, (I) күміс металдық күйге дейін аскорбин қышқылымен тотықсыздандырылады, одан кейін металдық тұнбаны бөліп алып, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ және $4\text{n H}_2\text{SO}_4$ артық мөлшерінде ерітеді. Осы жағдайда түзілетін темір (II) ионы $\text{Ce}(\text{SO}_4)_2$ немесе калий бихроматының ерітіндісімен титрленеді.

2.4.3.3. Фотометрлік әдістер

Күмістің аз мөлшерін фотометрлік анықтау үшін органикалық реагенттерді қолдану әдісі кең тараған. Олардың көбі күміспен суда аз еритін ішкікешенді қосылыстар түзеді. Бұл қосылыстар органикалық еріткіштермен бөлініп алынады.

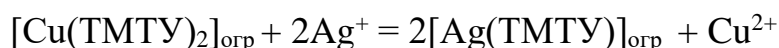
Күмісті анықтауда фотометрияда п-диметиламинобензилиденроданин және оның туындыларын, дитизон, мыс тиураматы кеңінен пайдаланылады.

Родаминді фотометрлік әдіс.

п-диметиламинобензилиденроданин күміспен (I) қышқылдық және бейтарап ортада суда қиын еритін қызыл-күлгін түсті қосылыс түзеді, ал сілтілік ортада күлгін түсті қосылыс алынады. Ерітіндінің оптикалық тығыздығын 450нм толық ұзындығында (көк сүзгіш) өлшейді.

Дитизинді экстракциялық-фотометрлік әдіс. Дитизон (дифенилтиокарбазон) экстракциялық-фотометрлік әдісімен аз мөлшердегі күмісті анықтауда сезімталдылығы жоғары органикалық реактивтердің бірі. Экстракция CCl_4 , хлороформ және басқа да полярлы емес еріткіштермен жүргізіледі. CCl_4 және CHCl_3 ерітінділерінде дитизон ерітіндісі қанық жасыл түске боялады. Күміс дитизонаты AgHDz қызғылт-сары түсті болады. Реагенттің артық мөлшерін кетіру үшін аммиактың сұйытылған ерітіндісімен шаймалау жүргізіледі.

Жанама тиураматты әдіс күміс иондарымен мыстың тетраметилтиурамдисульфидінен (тиурамат) мыстың эквивалентті мөлшерін ығыстырып шығаруға және тиуриаматтың түссізденуіне негізделген:



2.4.3.4. Электрхимиялық әдіс

Сынап электродында вольтамперметрия. Күміс сынапқа қарағанда асыл металл, сондықтан кешен түзбейтін электролиттер фонында күміс ионының тотықсыздану потенциалы сынаптың анодтық еру потенциалына ($E=+0,4В$) қарағанда оң. Осы жағдайда күмістің тотықсыздану потенциалы сынаптың еру потенциалына жатады, яғни сынап электродында күмістің тотықсыздану потенциалын анықтау мүмкін емес. Дәл осындай жағдай көптеген кешен түзгіш фондарда орын алады, яғни сынаптың (I, II) кешендері күмістың кешендеріне қарағанда тұрақты.

Сынап электродында күмістің тотықсыздануының жартылай толқынды потенциалы

Фон	$E_{1/2}$, нас.к.э.
0,1M KNO_3	+0,22
0,1M NaOH	+0,20
0,1M $Na_2S_2O_3$	-0,10
0,1M KCN	-0,30

Классикалық полярографияның анықтау сезімталдылығы $5 \cdot 10^{-6}$ м/л.

Қатты электродтардағы вольтамперметрия. Қатты электродтарда (платина, алтын, графит) күмістің тотықсыздануы сәйкес электродтық жүйенің стандартты потенциалына жуық болып келеді. Мысалы, қышқылды және бейтарап ортада (KNO_3 , HNO_3 , H_2SO_4) күмістің (I) электрототықсыздануы +0,7 В н.в.э. ($E_0 = +0,79$) потенциал шамасында болады.

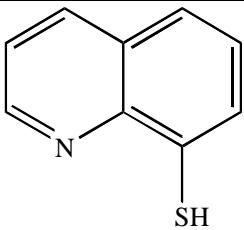
Инверсионды вольтамперметрия кең қолданысқа ие.

Амперметрлік әдістер. Күмісті анықтаудың бұл әдістері тұндыру және кешен түзу реакцияларына негізделген. Титрлеу платина немесе графит индикаторлары электрод қатысында реагенттің тоығу тоғында жүргізіледі. Күмісті титрлеуге бірнеше органикалық және бейорганикалық заттар ұсынылған. Ең тиімдісі калий иодиді болып табылады, ол иодидті әдіспен күмістің минималды 0,02-0,03 мкг/мл мөлшерін анықтайды.

Кесте 2.4.3.4.

Күмісті амперметрлік анықтау әдістері

Реагент	Молярлы қатынас, к.т.т. Ag : R	Реакция өнімі
1. KJ	1 : 1	AgJ
2. $K_4Fe(CN)_6$	4 : 1	$Ag_4Fe(CN)_6$
3. Ферроцен	1 : 1	$Ag(I) + R \rightarrow Ag^0$
4.8- меркаптохинолин (тиоксин)	1 : 1	AgR

 C_9H_6NSH		
5. Унитиол $CH_2 - SH$ $ $ $CH - SH$ $ $ $CH_2 - SO_2Na$	2 : 1	Ag_2R
6. Тиомочевина SCN_2H_4	1 : 2	$Ag(SCN_2H_4)_2^-$

Қолданылған әдебиеттер

1. Миомандр А.В. Электрохимия. М. 2008г.
2. Кудреева Л.К., Курбатов А.П. Гальваникалық қаптамалар алудың технологиясы бойынша практикалық жұмыстарды орындауға оқу - әдістемелік құралы, 2009. – 34 б.
3. А.М. Аргимбаева, Б.Д. Бүркітбаева, Р.А. Нурманова. Электрохимияның таңдамалы тараулары, 2013. – 108 б.
4. Кудреева Л.К. Гальваникалық қаптамалар алу технологиясы, 2021. – 184 б.
5. Аргимбаева А.М. Талдаудың физика – химиялық әдістері, 2013. - 204 б.
6. Баешов А.Б., Баешова А.К. Электрохимия, 2014. - 204 б.
7. Кудреева Л.К., Курбатов А.П. Руководство по выполнению работ практикума «Технология электрохимических производств – Алматы: Қазақ университеті 2015, - 56 б. ISBN 978-601-04-1472-3
8. Кудреева Л.К., Электрохимиялық өндірістер технологиясы» курсы бойынша практикалық жұмыстарды орындауға нұсқаулық – Алматы: Қазақ университеті 2015, - 52 б. ISBN 978-601-04-1295-8
9. К.К. Кабдулкаримова, Е.А.Әубәкіров. Электрохимия өндірісінің технологиясы. Плазмахимия: Оқу құралы. –Алматы: 2016. – 286 б.

Қосымша әдебиеттер

1. Плаксин И.Н. Металлургия благородных металлов.М.2020.
2. Плаксин И.Н. Опробование и пробирный анализ. М.1947.
3. Уткин Н.И. Металлургия цветных металлов. М. Металлургия, 1985.
4. Амарян А.Г. Извлечение серебра из отходов фотоматериалов. М.ГосИНТИ, 1965.